

目 次

第1章 材料と製造・加工 1

1.1 金属材料	3	1.3.5 耐熱用一方向凝固共晶複合材料	55
1.1.1 超微細高強度材料	3	1.4 接合技術	57
1.1.2 Ni基超合金	7	1.4.1 溶接	57
1.1.3 高速製鉄法	10	1.4.2 接着	61
1.1.4 大口径無転位シリコン 単結晶製造技術	14	1.4.3 はんだ接合	67
1.1.5 塑性加工技術	16	1.4.4 常温接合	69
1.2 非金属材料	21	1.5 表面加工技術	72
1.2.1 ファインセラミックス	21	1.5.1 表面改質	72
1.2.2 木材	24	1.5.2 耐熱コーティング	75
1.2.3 カーボン材料	26	1.6 ナノ・マイクロ材料	77
1.2.4 酸化物単結晶	27	1.6.1 ナノ・マイクロファイバ	77
1.2.5 コンクリート	32	1.6.2 ナノ・マイクロ複合材料	79
1.2.6 高分子材料	35	1.7 生体材料	80
1.2.7 ゴム	37	1.7.1 生体材料の特殊性	80
1.2.8 高分子材料の成形加工	41	1.7.2 材料の生体適合性	81
1.3 複合材料	44	1.7.3 血液適合性	82
1.3.1 樹脂基複合材料	44	1.7.4 力学的生体適合性	82
1.3.2 金属基複合材料	48	1.7.5 術後感染	83
1.3.3 C/C コンポジット	51	1.7.6 耐久性	84
1.3.4 傾斜機能材料	52	1.7.7 生体材料の応用	86

第2章 変形の力学 97

2.1 弾性と超弾性	99	2.1.5 超弾性体の変形挙動	107
2.1.1 応力, ひずみ, 平衡方程式	99	2.2 塑性・粘塑性	108
2.1.2 弾性体の応力-ひずみ関係	101	2.2.1 転位動力学	109
2.1.3 弾性体の変形挙動	102	2.2.2 結晶塑性	111
2.1.4 超弾性体の応力-ひずみ関係	104		

2.2.3 連続体の塑性	113	2.4.4 仮想仕事の原理	137
2.2.4 粘塑性	118	2.4.5 有限変形(幾何学的非線形)解析	138
2.3 粘弾性・クリープ	119	2.4.6 座屈	139
2.3.1 時間依存変形挙動	119	2.5 摩擦・接触	142
2.3.2 粘弾性理論	120	2.5.1 線荷重と点荷重	142
2.3.3 クリープ理論	124	2.5.2 Hertzの理論	145
2.4 有限変形と座屈	132	2.5.3 角がある物体の接触	148
2.4.1 変形と変位	132	2.5.4 摩擦について	149
2.4.2 有限変形問題における各種ひずみ	133	2.5.5 接触面におけるすべりと固着について	150
2.4.3 有限変形問題における各種応力	135		

第3章 強度の力学と破損現象 155

3.1 破損の形態	157	3.6 疲労強度	195
3.1.1 損傷の形態	157	3.6.1 S-N曲線と疲労限度	195
3.1.2 破壊の形態	157	3.6.2 諸因子の影響	196
3.2 破損の力学	159	3.6.3 低サイクル疲労	198
3.2.1 材料の破損の法則	159	3.6.4 疲労き裂進展	199
3.2.2 座屈	163	3.6.5 実働荷重下の疲労強度	200
3.2.3 塑性崩壊	165	3.7 高温強度	201
3.2.4 損傷の力学	166	3.7.1 クリープ変形とクリープ破壊	201
3.2.5 許容応力と安全率	168	3.7.2 多軸応力下のクリープ変形とクリープ破壊	203
3.3 き裂の力学	168	3.7.3 クリープき裂の発生と伝播	204
3.3.1 線形破壊力学	170	3.7.4 高温疲労・熱疲労強度	205
3.3.2 弾塑性破壊力学	176	3.8 環境強度	208
3.4 静的強度	180	3.8.1 環境強度の特徴と影響因子	208
3.4.1 単軸応力下の材料特性	180	3.8.2 応力腐食割れ	210
3.4.2 多軸応力の影響	183	3.8.3 水素脆化割れ	212
3.4.3 き裂材の強度	186	3.8.4 応力腐食割れにおよぼす動的応力の影響	213
3.5 衝撃強度	188	3.8.5 腐食疲労	213
3.5.1 衝撃荷重下の材料特性	188		
3.5.2 衝撃破壊靱性	191		
3.5.3 高速き裂進展	193		

第4章 連成の力学 223

4.1 連成力学概論	225	4.2.6 カプラー	233
4.2 連成力学の数値解析法	229	4.3 さまざまな連成現象	234
4.2.1 連成現象の分類	229	4.3.1 流体-構造連成	234
4.2.2 強連成法と弱連成法	230	4.3.2 熱-流体-構造連成	240
4.2.3 時間積分法	231	4.3.3 電磁-構造連成	245
4.2.4 連成現象の大規模解析	231	4.3.4 電磁-流体-構造の連成現象	251
4.2.5 領域変動とメッシュ再分割	233		

4.3.5 音響-構造連成	255	4.3.7 制御-構造連成	270
4.3.6 地盤-構造連成	265	4.3.8 電磁-音響-制御-構造連成	273

第5章 動的現象 285

5.1 振動現象	287	5.3.1 衝撃現象	306
5.1.1 1自由度系の振動	287	5.3.2 材料のひずみ速度依存性	309
5.1.2 振動現象のモデル化および定式化	292	5.3.3 衝撃問題の数値解析	313
5.1.3 多自由度系の振動	294	5.4 ランダムな振動と応答	316
5.1.4 連続体の振動	295	5.4.1 ランダムな振動と応答(機械分野)	316
5.1.5 振動の制御と振動の利用	296	5.4.2 ランダム振動(建築物)	321
5.2 波動現象	297	5.5 耐震問題	324
5.2.1 波動現象の物理	297	5.5.1 地震現象	324
5.2.2 波動現象の数理	299	5.5.2 耐震設計	327
5.2.3 波動現象の数値解析	300	5.5.3 構造物の地震動応答解析	329
5.3 衝撃問題	306		

第6章 数値解析手法 335

6.1 数値計算一般	337	6.3.7 構造解析ソフトウェア	356
6.1.1 コンピュータ処理で生じる誤差	337	6.4 差分法	357
6.1.2 非線形解析	337	6.4.1 差分法の概要	357
6.1.3 非定常解析	338	6.4.2 準備——テイラー展開	357
6.1.4 固有値解析	339	6.4.3 空間の分割と導関数の差分近似	358
6.1.5 補間と近似	340	6.4.4 微分方程式の差分近似	359
6.1.6 写像と数値積分	341	6.4.5 2次元問題	361
6.1.7 近接検索とソート	342	6.5 有限要素法	362
6.1.8 フーリエ解析	343	6.5.1 有限要素法の概要	362
6.1.9 ウェーブレット	345	6.5.2 有限要素とモデリング	363
6.1.10 SEA法	346	6.5.3 線形弾性問題に対する有限要素法の定式化	364
6.2 連立1次方程式の解法	348	6.5.4 有限要素解析結果の可視化と評価	365
6.2.1 係数行列が対称正定値行列のときの反復解法	348	6.6 境界要素法	366
6.2.2 安定化近似逆行列	349	6.6.1 境界要素法の概要	366
6.2.3 一般の非対称行列の場合における反復解法	351	6.6.2 弾性問題に対する境界要素定式化	367
6.3 汎用数値計算ライブラリ	352	6.6.3 非同次方程式の境界値問題に対する境界要素定式化	370
6.3.1 数値計算ツール	352	6.7 粒子的手法	371
6.3.2 数値計算ツールアーカイブサイト	353	6.7.1 粒子的手法とは	371
6.3.3 数値計算ライブラリ	354	6.7.2 SPH法	372
6.3.4 数値計算インタプリタ	354	6.7.3 MPS法	374
6.3.5 スパースマトリックスソルバ	355	6.7.4 EFGM	377
6.3.6 数値計算ライブラリ解説書籍	356		

6.8 ソフトコンピューティング	379	6.10.2 可視化のためのデータ	389
6.8.1 ソフトコンピューティングの可能性	379	6.10.3 可視化に用いられる画像生成手法	390
6.8.2 ファジィ	379	6.10.4 構造解析における可視化	391
6.8.3 ニューラルネットワーク	380	6.10.5 大規模数値計算のためのポストプロセッサ	393
6.8.4 遺伝的アルゴリズム	382	6.10.6 ポストプロセッサのための基盤ソフトウェア	393
6.9 プリプロセッサ	384	6.11 大規模高速計算	394
6.9.1 形状モデリングへの要求基準	384	6.11.1 並列有限要素法の概要	394
6.9.2 形状モデリングに関する分類	385	6.11.2 分散データ構造	395
6.9.3 初期形状モデリング手法	386	6.11.3 局所前処理	397
6.9.4 形状変更モデリング手法	387	6.11.4 並列プログラミングモデルについて	399
6.9.5 新しい形状モデリング手法	388		
6.10 ポストプロセッサ	388		
6.10.1 ポストプロセス	389		

第7章 実験法 409

7.1 材料特性評価試験	411	7.3 動的測定法	440
7.1.1 強度特性評価試験	411	7.3.1 振動計測	440
7.1.2 破壊特性評価試験	414	7.3.2 音響計測	450
7.1.3 マイクロ材料特性評価試験	417	7.3.3 衝撃測定	454
7.1.4 ナノ・マイクロ領域材料評価試験	420	7.4 欠陥検査法	460
7.2 応力・ひずみ測定法	423	7.4.1 欠陥の種類と検査法	460
7.2.1 応力・ひずみ測定法の種類と特徴	423	7.4.2 ラジオグラフィ	463
7.2.2 電気抵抗線ひずみ計	428	7.4.3 超音波法	466
7.2.3 結晶回折法	430	7.4.4 電磁気的手法	470
7.2.4 光学的測定	434	7.4.5 赤外線サーモグラフィ法	472
7.2.5 熱弾性法	438		

第8章 逆解析法 483

8.1 逆問題の意義と逆解析の特性	485	8.2.4 そのほかの一般的解法	494
8.1.1 逆問題の意義	485	8.2.5 適切化パラメータの選定法	495
8.1.2 逆問題の定義と分類	485	8.3 逆問題解析の適用例	496
8.1.3 逆問題の不適切性	487	8.3.1 非破壊評価に対する逆解析の適用例	496
8.2 一般的逆解析手法	487	8.3.2 動的な欠陥信号の特徴抽出	501
8.2.1 線形問題に対する解法と特異値分解を用いた適切化	488	8.3.3 形状同定にかかわる逆解析	506
8.2.2 残差最小化法, Tikhonov の適切化法とそれらのための収束法	491	8.3.4 負荷・ソース同定のための逆解析	512
8.2.3 先験情報や拘束条件を用いた適切化法	493	8.3.5 境界値と材料特性同定のための逆解析	518

第9章 リスクベース工学 527

9.1 リスクベース工学概論	529	9.4.2 信頼性指標に基づく部分安全係数の決定	551
9.1.1 リスクの本質とリスクマネジメント	529	9.5 建築物のリスク評価	554
9.1.2 リスクベース工学の提案	530	9.5.1 リスクの様相と評価目的	554
9.1.3 リスクベース設計	531	9.5.2 地震リスク評価	554
9.1.4 リスクベースメンテナンス	533	9.5.3 リスクマネジメント	558
9.2 リスクベース工学の基礎	536	9.6 機械設備のリスク低減	559
9.2.1 リスク評価のための予備知識	536	9.6.1 機械安全の基本的考え方	559
9.2.2 リスク評価の手順	537	9.6.2 リスクの概念と安全の判断	560
9.2.3 システムの評価	539	9.6.3 リスクアセスメントの手順	560
9.2.4 リスク解析後の処理	543	9.6.4 リスク低減方策の選定手順	564
9.2.5 リスクベース検査への応用	543	9.6.5 制御システムの安全関連部の設計手順	565
9.3 破損確率評価	544	9.7 リスク受容とリスクコミュニケーション	566
9.3.1 破損確率評価の位置づけ	544	9.7.1 電磁界とリスク	566
9.3.2 限界状態関数と信頼性設計	544	9.7.2 リスク認知論	567
9.3.3 限界状態設計法	545	9.7.3 リスクコミュニケーション	569
9.3.4 モンテカルロ法の併用による破損確率評価	548	9.7.4 リスク対応行動指針	571
9.4 部分安全係数	550	9.7.5 リスクベース工学とリスクコミュニケーション	573
9.4.1 安全係数と部分安全係数	550		

第10章 最適化手法 577

10.1 構造最適設計の役割	579	10.3.10 分枝限定法	595
10.2 最適化問題の記述	579	10.4 発見的手法	597
10.2.1 標準的な最適化問題	579	10.4.1 ランダムサーチ法	597
10.2.2 双対問題	580	10.4.2 シミュレーテッドアニーリング法	598
10.2.3 多目的最適化問題	582	10.4.3 遺伝的アルゴリズム	600
10.2.4 複合領域最適化	583	10.4.4 ニューラルネットワーク	602
10.3 数理的最適化手法	583	10.5 最適化解析のための周辺技術	603
10.3.1 線形計画法	583	10.5.1 構造再解析法	603
10.3.2 2次計画法	585	10.5.2 感度解析	610
10.3.3 ニュートン法	587	10.5.3 近似法/中間変数の利用	616
10.3.4 準ニュートン法	588	10.5.4 ベーシスペクトル法	620
10.3.5 許容方向法	589	10.5.5 均質化法/密度法	622
10.3.6 ラグランジュ乗数法	589	10.5.6 曲面応答法	623
10.3.7 最適性規準法	591	10.5.7 多段階最適化法	626
10.3.8 動的計画法	592	10.5.8 並列処理	627
10.3.9 ゲーム理論	593	10.6 適用例	636

10.6.1 複合材料構造への適用	636	10.6.6 船舶構造への適用	649
10.6.2 情報機器への適用	638	10.6.7 タイヤへの適用	650
10.6.3 航空機	640	10.7 汎用プログラムシステム	653
10.6.4 自動車への適用	642	10.7.1 汎用プログラムシステムの構成	653
10.6.5 建築構造物への適用	647	10.7.2 開発の歴史と現状	654

第11章 構造設計法 661

11.1 構造設計の基本	663	11.3.4 規 準 と 法 令	700
11.1.1 許容応力度設計	663	11.4 プラント構造の基礎・荷重評価・計算法・ 規 準 と 法 令	704
11.1.2 限界状態設計	664	11.4.1 基 礎	704
11.2 建築物の構造設計	667	11.4.2 荷 重 評 価	706
11.2.1 荷 重 評 価	667	11.4.3 コンピュータの利用	709
11.2.2 材 料 の 評 価	672	11.4.4 規 準 と 法 令	710
11.2.3 コンピュータの利用	679	11.5 自動車構造の基礎・荷重評価・計算法・ 規 準 と 法 令	713
11.2.4 規 準 と 法 令	684	11.5.1 構 造 の 基 礎	713
11.3 土木構造物の構造設計	688	11.5.2 荷 重 評 価	719
11.3.1 土木構造設計の特徴 および荷重評価、応答評価	688	11.5.3 コンピュータの利用	720
11.3.2 材 料 の 評 価	693	11.5.4 規 準 と 法 令	722
11.3.3 コンピュータの利用	697		

第12章 ナノ・マイクロ構造工学 731

12.1 ナノ構造材の製法と特性	733	12.3.2 ナノ・マイクロデバイスの 構造設計	754
12.1.1 ナノ構造材料	733	12.3.3 ナノ・マイクロ材料の 機械・電気特性	755
12.1.2 電析ナノ結晶材料の機械的特性	733	12.4 ナノ・マイクロ構造解析法	759
12.1.3 高強度ナノ結晶電析合金の作製	735	12.4.1 ナノ・マイクロデバイス 解析ツール	760
12.1.4 ナノ結晶合金の加熱処理による 脆化挙動と熱可塑性	737	12.4.2 ナノ構造解析	764
12.1.5 電解析出法を利用したナノ結晶材料 のマイクロ成形技術	739	12.5 ナノ・マイクロ構造の応用	770
12.2 マイクロ構造材の製法と特性	740	12.5.1 ナノ・マイクロアクチュエータ	770
12.2.1 マイクロ構造材の特質	741	12.5.2 マイクロ力学センサの構造と特性	776
12.2.2 マイクロ構造材の部材化法	741	12.5.3 顕微鏡と周辺技術	781
12.3 ナノ・マイクロ構造設計	749		
12.3.1 ナノ・マイクロデバイスの プロセス設計	750		

第13章 バイオ構造システム 793

13.1 ミクロ構造	795	13.2.2 生体システム構造	811
13.1.1 分子構造	795	13.2.3 植物構造	819
13.1.2 細胞構造	799	13.3 モデリングと解析の手法	828
13.2 マクロ構造	803	13.3.1 構成モデル	828
13.2.1 生体組織構造	803	13.3.2 解析手法	833

第14章 応用事例 849

14.1 地盤構造工学	851	14.6 電子デバイス	915
14.1.1 地盤の材料特性	851	14.6.1 単結晶材料の強度	915
14.1.2 地盤構造物とその数値解析	854	14.6.2 薄膜界面および内部配線の強度	916
14.1.3 地盤構造の相互作用と 連成数値解析	856	14.6.3 電子デバイス微細接続の強度	918
14.1.4 地盤の変形・浸透現象の 連成数値解析	857	14.6.4 電子デバイスパッケージング の強度	921
14.1.5 地下構造物	861	14.6.5 電子デバイスの非破壊検査	924
14.2 建築構造	863	14.7 核融合炉工学	925
14.2.1 超高層建築	863	14.7.1 核融合炉の基本構造	926
14.2.2 大スパン建築	868	14.7.2 核融合炉の構造力学	930
14.2.3 免震構造	871	14.7.3 プラズマ対向機器の構造設計	937
14.3 自動車/鉄道工学	875	14.8 スマート材料・構造	938
14.3.1 自動車/鉄道の構造工学の 現状と課題	875	14.8.1 ヘルスモニタリング技術の ためのセンサ	938
14.3.2 CAD/CAE	877	14.8.2 制御技術のためのアクチュエータ	941
14.3.3 振動騒音問題	879	14.8.3 航空宇宙分野での適用	942
14.3.4 衝突安全問題	883	14.8.4 日本における航空機胴体 デモンストレータ試験	943
14.3.5 そのほかの問題	889	14.9 折紙・針金構造	948
14.4 海洋構造物	896	14.9.1 折紙構造	948
14.4.1 海洋構造物の目的と形態	896	14.9.2 針金構造	949
14.4.2 海洋構造物開発の歴史	897	14.9.3 応用例	951
14.4.3 浮体構造物の特徴	899	14.10 リスクベースメンテナンスの例	960
14.4.4 設 計	902	14.10.1 原 子 力	960
14.4.5 海洋構造物の新たな展開	904	14.10.2 蒸気タービン	963
14.5 航空宇宙工学	905	14.10.3 発電用ボイラー	969
14.5.1 航空構造工学	905	14.10.4 化学プラント	973
14.5.2 宇宙構造工学	910		